



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 692 33 151 T2 2004.06.03

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 0 507 508 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 692 33 151.4

(96) Europäisches Aktenzeichen: 92 302 643.9

(96) Europäischer Anmeldetag: 26.03.1992

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 07.10.1992

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 13.08.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 03.06.2004

(51) Int Cl.⁷: H04L 12/56

H04L 12/18, H04B 10/18, H04J 14/06

(30) Unionspriorität:
680456 04.04.1991 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, ES, FR, GB, IT

(73) Patentinhaber:
**Tyco Submarine Systems Ltd., Morristown, N.J.,
US**

(72) Erfinder:
**Bergano, Neal Salvatore, Lincroft, New Jersey
07738, US; Evangelides, Jr., Stephen G.,
Middletown, New Jersey 07748, US; Mollenauer,
Linn F., Colts Neck, New Jersey 07722, US**

(74) Vertreter:
Leine & Wagner, 30163 Hannover

(54) Bezeichnung: **Polarisationsmultiplexierung mit solitons**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingeleitet, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**Erfindungsgebiet**

[0001] Die Erfindung betrifft im allgemeinen optische Kommunikationen und im speziellen unter Verwendung von Solitonen gemultiplexte Kommunikationen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Die Vorteile der Verwendung von Solitonen (oder präziser, formerhaltenden Pulse elektromagnetischer Strahlung, die in einer optischen Einmodenfaser existieren kann) in optischen Faserkommunikationsanordnungen sind in vielen Publikationen der Vergangenheit diskutiert worden. Typisch sind US Patent Nr. 4,406,516, erteilt am 27. September 1983 an A. Hasegawa, ein Artikel von A. Hasegawa et al., Proceedings of the IEEE, Volume 69(9), Seiten 1145 bis 1150 (1981) und ein Artikel des Anmelders, der erschienen ist in Physics World, September 1989, Seite 29 et seq.

[0003] Es ist wohlbekannt, das, um für einen Puls ein Soliton zu bleiben, all seine Anteile benötigt werden, um einen gemeinsamen Polarisationszustand aufrecht zu erhalten, trotz einer konstanten Entwicklung zu dem Polarisationszustand, der durch die Doppelbrechung der Faser verursacht wird. Jedoch ist es nicht bekannt gewesen, ob eine Serie an Solitonen, die mit einer gemeinsamen Polarisation eingespeist werden und eine gemeinsame Geschicht haben, mit einem gemeinsamen Polarisationszustand auftauchen würden, wenn sie ein Transmissionssystem durchqueren, auf einer Puls-zu-Pulsbasis. Eine Pulsgeschichte kann durch zwei Dinge modifiziert werden: (1) Änderungen in der Doppelbrechung der das System aufbauenden Fasersegmente, und (2) das spontane Emissionsrauschen (ASE), das den einzelnen Pulsen/Impulsen zufällig überlagert ist. Die ersten Änderungen tendieren dazu, auf einer sehr langsam Zeitskala (typischerweise Minuten oder länger) zu sein, so daß diese leicht kompensiert werden durch eine automatische Polarisationscontrollervorrichtung am Ausgang des Systems. Daher haben lediglich Effekte des ASE das Potential, Puls-zu-Pulsänderungen im Polarisationszustand des Solitonstromes zu verursachen.

Zusammenfassung der Erfindung

[0004] Um unsere Erfindung zu implementieren, haben wir die Effekte des ASE-Rauschens von numerischen Simulationen von Transmissionen durch ein System mit zufälliger Doppelbrechung abgeschätzt, und haben die Effekte analytisch und experimentell studiert. Unsere Simulationen zeigen, daß die Polarisierung von Solitonen, die ein 9000 km langes System durchlaufen (bestehend aus dispersionsverschobener Faser mit Polarisationsdispersionsparameter

$\Delta\beta/h^{1/2} \leq 0,2 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ und $\sim 30 \text{ km}$ voneinander entfernten Verstärkern) bemerkenswert gut beibehalten wird.

[0005] Gemäß unserer Erfindung wird ein optisches Kommunikationssystem bereitgestellt, das gekennzeichnet ist durch:
 einen Transmitter, wobei der Transmitter beinhaltet eine einzelne Signalquelle zur Erzeugung eines Stromes aus Soliton-Pulsen;
 einen Signalsplitter zum Splitten des erzeugten Stromes aus Soliton-Pulsen in eine Mehrzahl von einzelnen Pulströmen, wobei jeder Pulstrom eine unterschiedliche Polarisierung aufweist;
 einen Modulator zum Modulieren jedes Pulstromes mit zu übertragender Information; und
 einen Multiplexer zum Zeit- und Polarisationsverschacheln der modulierten Pulströme, um einen gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten und den gemultiplexten Strom auf eine Übertragungsleitung zu geben;
 eine Übertragungsleitung mit einer relativ geringen Polarisationsabhängigkeit, gekennzeichnet durch, für jede zwei Polarisierungen, eine relativ kleine Differenz in der Systemverstärkung und eine relativ geringe Zeitverzögerung, im Vergleich zu einer Bitperiode; und
 einen Empfänger, wobei der Empfänger beinhaltet einen Demultiplexer zum Separieren der modulierten Pulströme nach einer Übertragung über der Übertragungsleitung; und
 einen Demodulator zum Demodulieren jedes empfangenen Pulstromes zur Wiedergewinnung der darauf modulierten Informationen.

[0006] Die Erfindung erstreckt sich ebenso auf einen Transmitter zur Verwendung in einem optischen Kommunikationssystem, gekennzeichnet durch eine einzelne Signalquelle zur Erzeugung eines Stromes aus Soliton-Pulsen;
 einen Signalsplitter zum Splitten des erzeugten Stroms aus Soliton-Pulsen in eine Mehrzahl von einzelnen Pulströmen, wobei jeder Pulstrom eine unterschiedliche Polarisierung aufweist;
 einen Modulator zum Modulieren jedes Pulstromes mit zu übertragender Information; und
 einen Multiplexer zum Zeit- und Polarisationsverschacheln der modulierten Pulströme, um einen gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten und den gemultiplexten Strom auf eine Übertragungsleitung zu geben, wobei die Übertragungsleitung eine relativ geringe Polarisationsabhängigkeit aufweist, die dadurch gekennzeichnet ist, daß für jede zwei Polarisierungen eine relativ kleine Differenz in der Systemverstärkung und eine relativ geringe Zeitverzögerung im Vergleich zu einer Bitperiode auftritt.

[0007] Die Erfindung erstreckt sich weiterhin auf ein Verfahren zur Übertragung von Information in einem optischen Kommunikationssystem, gekennzeichnet durch die Schritte:
 Erzeugen eines Stroms aus Soliton-Pulsen mit einer

einzelnen Signalquelle;

Splitten des erzeugten Stroms aus Soliton-Pulsen in eine Mehrzahl von einzelnen Pulssströmen, wobei jeder Pulssstrom eine unterschiedliche Polarisation aufweist;

Modulieren jedes Pulssstromes mit zu einem entfernten Empfänger zu übertragender Information; Zeit- und Polarisationsverschachteln der modulierten Pulssströme, um einen gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten; und

Aufbringen des gemultiplexten Stroms auf eine Übertragungsleitung mit einer relativ geringen Polarisationsabhängigkeit, die dadurch gekennzeichnet ist, daß für jede zwei Polarisierungen eine relativ geringe Differenz in der Systemverstärkung und eine relativ geringe Zeitverzögerung im Vergleich zu einer Bitperiode auftritt.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0008] **Fig. 1** zeigt die typische Variation an Intensität I_{pol} von initial polarisierten Non-Soliton-Pulsen, die einen speziellen Polarisationszustand (SOP) aufweisen, mit optischer Frequenz, am Ausgang einer langen zufällig doppelbrechenden Faser. Der typische Wert von δf beträgt 25 GHz für ein 10.000 km langes System mit einem Polarisationsdispersionsparameter von $\sim 0,2 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$;

[0009] **Fig. 2** zeigt ein Schema eines Multiplexers, der gemäß der vorliegenden Erfindung angeordnet ist;

[0010] **Fig. 3** zeigt die Soliton-Pulsfeld-Hüllkurven am Ausgang des Multiplexers von **Fig. 2**;

[0011] **Fig. 4** ist ein schematisches Diagramm des zu verwendenden Demultiplexers, wenn die eingehenden Signale orthogonal polarisiert sind;

[0012] **Fig. 5** ist ein schematisches Diagramm des zu verwendenden Demultiplexers, wenn die eingehenden Signale nicht perfekt orthogonal polarisiert sind aufgrund einer Variation/Schwankung in der Systemverstärkung mit Polarisierung;

[0013] **Fig. 6** ist ein Diagramm, das verbotene und Erfassungs-Zonen zeigt für das zu verwendende asymmetrische zeitteilende Demultiplexen in Verbindung mit dem polariertesteilenden Demultiplexen; und

[0014] **Fig. 7** ist ein Graph, der die Übereinstimmung von Computersimulationen, analytischen Modellen und experimentellen Ergebnissen zeigt, den Betrieb unserer Erfindung bestätigend.

Detaillierte Beschreibung

[0015] Die vorliegende Erfindung, die eine Kombination aus Polarisations- und Zeitteilungsmultiplexen in einem Soliton-Kommunikationssystem verwendet, basiert auf der Tatsache, daß Solitonen typischerweise nur eine kleine Fraktion (<20%) der Bitperiode besetzen, so daß verschiedene informationstragende Pulssströme aus unabhängigen Quellen zeitlich ver-

schachtelt und mit unterschiedlichen Polarisierungen gemultiplext werden können. Am Empfänger kann die Polarisationsseparierung durchgeführt werden auf einem empfangenen Signal, das experimentell und theoretisch bestätigt worden ist. Dies wird in weiteren Details nachfolgend beschrieben.

[0016] Vor Fortführen der Beschreibung unserer Erfindung ist wichtig klarzustellen, daß die Polarisationsseparierung mit Solitonen möglich und mit anderen Pulsen nicht möglich ist. Im besonderen ist dies nicht möglich mittels Übertragung von mehr oder weniger Rechteckimpulsen in einem non-return-to-zero (NRZ) Format, übertragen bei der Wellenlänge der nullchromatischen Dispersion (λ_0). In einem Artikel von C.D. Poole, "Measurement of Polarization-Mode Dispersion in Single-Mode Fibers With Random Mode Coupling", Opt. Lett. 14, Seiten 523–525, Mai, 1989, ist gezeigt worden, daß das Übertragungssystem, das aussieht wie ein Stapel von vielen Wellenplatten zufälliger Stärken und zufälliger Orientierungen, gekennzeichnet sein kann durch die gesamte Zeitverzögerungsdifferenz $\delta T(\lambda)$ zwischen "schnell" und "langsam" Hauptzuständen der Polarisierung. δT weist eine Wahrscheinlichkeitsverteilung mit Null-Mittel ($\delta T = 0$), mit einer Standardabweichung $\sqrt{\langle \delta T^2 \rangle} = \Delta\beta/h^{1/2}\sqrt{Z}$, wobei Z die gesamte Systemlänge ist. Beispielsweise ist für ein System mit $\Delta\beta/h^{1/2} = 0,2 \text{ ps}/\text{km}^{1/2}$ und $Z = 10.000 \text{ km}$ $\sqrt{\langle \delta T^2 \rangle} = 20 \text{ ps}$.

[0017] Der oben zitierte Artikel von Poole enthüllt ebenso, daß die Polarisierung eine durchschnittliche Periode δf mit wechselnder optischer Frequenz geben durch $\delta f = (2\sqrt{\langle \delta T^2 \rangle})^{-1}$ aufweist. Daher erhält man für $\sqrt{\langle \delta T^2 \rangle} = 20 \text{ ps}$ $\delta f = 25 \text{ GHz}$, wobei der Intensitätswechsel eines Ausgangspolarisationszustandes (SOP) am Systemausgang als eine Funktion der Frequenz dahin tendieren würde, sich wie in **Fig. 1** gezeigt zu verhalten. Nun erleiden die Pulse/Impulse eine große nicht-lineare Netzphasenverschiebung $\Phi_{nl} > n$ in einem NRZ-System, das ungefähr 10.000 km lang ist, aufgrund der Tatsache, daß der nichtlineare Fasereffekt nicht durch Dispersion (wie dies für Solitonen gilt) herausgelöst werden kann, so daß das Frequenzspektrum des Pulssstromes typischerweise über viele Zehner an GHz aufgeweitet wird für Systeme, die mit Gigabits/Sek.-Multiraten übertragen. Dies ist in einem Artikel beschrieben von D. Marcuse, "Single-Channel Operation in Very Long Nonlinear Fibers with Optical Amplifiers at Zero Dispersion", Journal of Lightwave Technology, Vol. 9, No. 3, Seite 356, März 1991. In Anbetracht der in **Fig. 1** gezeigten schnellen Wechsel der Polarisierung mit der Frequenz, werden die verschiedenen Frequenzkomponenten des Pulses auf vielen verschiedenen Wegen polarisiert werden, so daß die Pulse/Impulse depolarisiert werden. Daher besteht keine Möglichkeit, die notwendige Separierung von initial orthogonal polarisierten Pulssströmen für NRZ zu erhalten, wie dies für Solitonen der Fall ist.

[0018] Um die Prinzipien der vorliegenden Erfindung zu verstehen und die Beschreibung zu verein-

fachen, werden das Multiplexing von 2 Kanälen mit jeweils 2,5 Gigabit pro Sekunde in einen einzelnen Kanal mit 5 Gigabit pro Sekunde und das korrespondierende Demultiplexen am Empfangsende zuerst beschrieben in Verbindung mit dem Multiplexer der **Fig. 2**.

[0019] Die Signalquelle für die zwei Kanäle ist ein einzelner moden-gelockter Laser **201**, ~35–50 ps breite Solitonen-Pulse bei einer Rate von 2,5 GHz erzeugend. Dessen Ausgang wird in zwei Soliton-Pulsströme gesplittet, die im wesentlichen orthogonale Polarisationen aufweisen, in einem Splitter **202**, von denen jede Hälfte separiert in den Modulatoren **205** und **206** moduliert wird (mit unterschiedlichen informationstragenden Signalen, die mit Daten 1 und Daten 2 bezeichnet sind). Modulator **205** empfängt ein erstes informationstragendes Signal oder einen Datenstrom auf der Leitung **207**, während Modulator **206** einen zweiten Datenstrom auf der Leitung **208** empfängt. Die zwei Soliton-Pulsströme werden anschließend in einem Splitter **210** rekombiniert, jedoch nur einer von den Pulsströmen verzögert durch eine Hälfte der 2,5 Gbits/s Bitperiode in einer einstellbaren Verzögerungsleitung **209**, so daß die zwei Pulsströme zeitlich gesehen verschachtelt sind.

[0020] Einige praktische Details den Apparat von **Fig. 2** betreffend sind hier aufgeführt. Die Modulatoren **205**, **206** sollten vorzugsweise vom LiNbO₃-balanced-Mach-Zehnder-Typ sein, da diese sichtbar kein Chirping der Soliton-Pulse erzeugen und ein adäquates An-Aus-Verhältnis (~20 dB) aufweisen. Die erforderlichen Linearpolarisationen in den Eingängen zu den Modulatoren **205**, **206** und für das Polarisationsmultiplexing als solches können entweder aufrecht erhalten werden durch die durchgehende Verwendung von (linear-)polarisationserhaltender Faser durch den Multiplexer oder durch die Verwendung von Polarisationscontroller, wie beispielsweise die Controller **211–214**, wobei beide vor und nach den Modulatoren **205**, **206**, wie in **Fig. 2** gezeigt, sich befinden. Polarisationscontroller **211–214** können angeordnet sein wie in einem Artikel von H. C. Levevre, "Single-Mode Fiber Fractional Wave Devices and Polarization Controllers", Electronics Letters, Vol. 16, Seite 778, 1980, beschrieben. Für die zeitliche Verschachtelung der zwei Soliton-Pulsströme ist es notwendig, eine präzise Einstellung der relativen Längen der zwei Arme des Multiplexers vorzunehmen. Dies kann durchgeführt werden mittels einer einstellbaren Verzögerungsleitung **209**, die gezeigt und angeordnet ist zwischen dem Ausgang des Modulators **206** und des Polarisationssplitters **210**. Die Verzögerungsleitung **209** ist jedoch nicht absolut notwendig. Es ist ebenso möglich, die Länge des einen oder des anderen Arms einzustellen mittels eines oder zweier Versuche, bis innerhalb einiger weniger Picosekunden der korrekten Länge, so daß der Apparat überall eine Wellenführung bleiben kann.

[0021] Der Original-Soliton-Pulsstromausgang vom korrekt eingestellten Multiplexer von **Fig. 2** wird wie

in **Fig. 3** gezeigt erscheinen. Die Feld-Einhüllenden entlang der x- und y-Achsen repräsentieren Pulse unterschiedlicher (orthogonaler) Polarisierungen. Beispielsweise weisen Solitonpulse **301** und **302** eine initiale Polarisierung entlang der Achse und eine Periode von 400 ps auf. Solitonpulse **303** und **304** weisen eine orthogonale (Y-Richtung) Polarisierung und die gleiche Periode auf und sind zeitlich verschachtelt mit der ersten Pulsserie. Information wird in den Pulsströmen transportiert aufgrund der Anwesenheit oder Abwesenheit von Pulsen an den erwarteten oder nominalen Positionen auf der Zeitachse. Man beachte, daß das Einspeisen der Solitonpulse wie in **Fig. 3** nicht nur das Potential erreicht für kombiniertes Zeit- und Polarisationssteilungsmultiplexen am Empfangsende, sondern ebenso virtuell das Potential für eine Cross-Phasen-Modulation eliminiert und daher virtuell das Potential für die Wechselwirkung während der Übertragung zwischen den zwei Kanälen eliminiert.

[0022] Um zu verifizieren, daß der Multiplexer korrekt eingestellt ist, kann eine Probe des Ausgangspulsstromes genommen werden, mit den zwei gleichgewichteten Polarisationskomponenten, so daß entweder dessen optisches Spektrum oder das Mikrowellenspektrum der detektierten Probe beobachtet werden kann. Im allgemeinen wird der zufällig modulierte Pulsstrom ein Linienspektrum zeigen, dessen Komponenten separiert sind mittels Vielfacher von 2,5 GHz. Zur korrekten Einstellung der relativen Armlängen (perfektes zeitliches Verschachteln der Soliton-Pulse) werden die ungeradzahligen harmonischen von 2,5 GHz verschwinden, zurücklassend nur Komponenten, die durch Vielfache von 5 GHz getrennt sind. Daher könnte vielleicht die einfachste Vorrichtung beim Überprüfen der zeitlichen Einstellung von einem Detektor und einem einfachen auf 2,5 GHz eingestellten Resonanz-Schaltkreis aufgebaut sein.

[0023] Die Übertragungsleitung selbst muß zwei Erfordernisse erfüllen für ein erfolgreiches Polarisationssteilungsmultiplexing/Demultiplexing. Zuerst muß die gesamte Differenz in der Systemverstärkung für jede zwei orthogonale Polarisierungen geringer als einige dB sein. Zweitens muß das δT für das System für jede zwei orthogonale Polarisierungen im Vergleich zu einer Bitperiode klein sein. Die erste Anforderung kann erfüllt werden durch vollständige Verwendung von Nichtpolarisationswellenlängenteilungsmultiplexing (WDM)-Kopplern zur Pumpeinspeisung (wie beispielsweise solche, die durch JDS-Optics hergestellt werden, die im wesentlichen normale Inzidenzreflektionen von Interferenzfiltern verwenden) und durch Halten sämtlicher anderer potentiell polarisierender Komponenten auf ein Minimum. Solche unabhängige Polarisationsverstärkung ist erreicht worden in einer rezirkulierenden Schleife, die nichts weiter als disersionsverschobene und Verstärker-Fasern enthält, JDS-Koppler, einen Non-Polarisationsfaserfusionskoppler für Eingabe/Ausgabe und einen nahezu

nicht-polarisierenden Isolator. Das zweite Erfordernis ist leicht zu erfüllen mit zur Zeit erhältlichen dispersionsverschobenen Fasern, für die der Polarisationsdispersionsparameter ($\delta\beta/h^{1/2}$) nun typischerweise $\leq 0,2 \text{ ps/nm/km}$ ist, so daß $\sqrt{(\delta T^2)} \sim 20 \text{ ps}$ oder weniger beträgt, sogar für die größte Systemlänge ($\sim 10.000 \text{ km}$).

[0024] Um die polarisierten und verschachtelten Solitonpulse am Empfangsende zu demultiplexen, muß das Auftauchen, die Willkürlichkeit, die Zustände der Polarisierung transformiert werden, so daß der unerwünschte Kanal an jedem Arm des Demultiplexers durch einen Linear-Polarisationsanalyser optimal verweigert werden kann. Diese Transformation kann durchgeführt werden mit dem elektrisch angetriebenen und kontinuierlich einstellbaren Polarisationscontroller der Art, die kürzlich gebaut und getestet worden ist durch F. Heismann et al., wie beschrieben in Electronics Letters, Vol. 27, Nr. 4, Februar 1991, Seiten 377 bis 379. In dem Fall, in dem die gesamten Verstärkungen für orthogonale Polarisationen im wesentlichen gleich sind, werden die Polarisationen für die zwei Kanäle durchweg orthogonal bleiben. In diesem Fall wird ein Polarisationscontroller benötigt und können die Datenströme transformiert werden in zwei orthogonale lineare Polarisationen. Der Demultiplexer kann dann wie in **Fig. 4** gezeigt angeordnet sein.

[0025] Wie in **Fig. 4** gezeigt, ist das empfangene gemultiplexte Signal am Eingang **401** ein 5 Gbits/s-Strom an Pulsen mit willkürlicher Polarisierung. Dieser Eingang wird einem Heismann-Polarisationscontroller **402** bereitgestellt, der einen willkürlichen und variierenden Eingangspolarisationszustand transformieren kann in jeden gewünschten spezifischen Ausgangspolarisationszustand. Diese Transformation kann verwendet werden, um den Polarisationszustand des ankommenden 5 Gbits/s-Datenstroms in einen Zustand (beispielsweise lineare Polarisierung) zu verändern, der eine Separierung in zwei 2,5 Gbits/s-Pulsströme an den Ausgängen **405** und **406** erlaubt, nur einen Polarisationsplitter **404** wendend. Der Pulsstrom am Ausgang **405** wird durch ein von den informationstragenden Signalen, Daten 1, moduliert, während der Pulsstrom am Ausgang **406** moduliert wird durch das andere informationstragende Signal, Daten 2. Ein Anteil des Signals am Ausgang **406** wird zum Controller **402** über einen Detektor **408** und eine Fehlersignalelektronik **410** zurückgespeist, enthaltend einen 2,5 GHz mikrowellenresonanten Filter, der ein Fehlersignal erzeugt, das notwendig ist für den Controller **402**, um zu führen und zu korrigieren für die langsamen Variationen/Veränderungen im Polarisationszustand des eingehenden 5 Gbits/s-Pulsstromes.

[0026] Im allgemeineren Fall, in dem dort eine kleine jedoch signifikante Differenz in der Verstärkung für orthogonale Polarisationen vorhanden ist, so daß die auftretenden Polarisationen der zwei Kanäle, wie enthalten im zum Demultiplexer applizierten Puls-

strom, nicht länger perfekt orthogonal sind. In diesem Fall, wie in **Fig. 5** gezeigt, wird ein Non-Polarisations-3dB-Splitter **501** verwendet, um den Eingangsstrom zu splitten, und ein (im allgemeinen gleicher) Teil an jeden der zwei ähnlichen Heismann-Polarisationscontroller **502** und **503** appliziert. Der Ausgang jedes Controllers wird auf einen jeweiligen Linear-Analyser **504**, **505** appliziert, der den ungewünschten Kanal an jedem Arm ausnullt durch Aufstellen dessen Polarisierung linear und orthogonal zum Ausgang der Controller **502** oder **503**. Daten 1 werden anschließend am Ausgang **5** wiedergewonnen, während Daten 2 am Ausgang **507** wiedergewonnen werden.

[0027] Um ein Fehlersignal für jeden Polarisationscontroller **502**, **503** zu generieren, kann die oben in Verbindung mit **Fig. 4** beschriebene Technik verwendet werden.

[0028] Daher wird eine Probe des 2,5 Gbits/s-Strom von jedem Ausgang **506**, **507** des Demultiplexers auf einen jeweiligen Detektor **508**, **509** appliziert und durch einen entsprechenden 2,5 GHz mikrowellenresonanten Filter **510**, **511** geschickt. Beide Polarisationscontroller **502**, **503** werden hinsichtlich eines maximalen Signals eingestellt. (Für perfekte orthogonale Kanäle, wie in **Fig. 4**, ist dies nur für einen Arm erforderlich). Um am Maximum eingelockt zu bleiben, ist es bekannt und gezeigt worden durch Heismann in der oben angegebenen Referenz, daß es manchmal notwendig sein kann, ein Element des Polarisationscontrollers zu dithern und eine fasensensitive Detektion zu verwenden, um das geeignete Fehlersignal abzuleiten.

[0029] Um zu sehen, warum ein Maximum des 2,5 GHz-Signales notwendig ist, sei darauf hingewiesen, daß für die schlimmstmögliche Einstellung des Polarisationscontrollers, die dazu tendiert, ungefähr gleiche Signale auszugeben von jedem Datenstrom an jedem Arm des Demultiplexers, die ungeradzahligen Vielfachen von 2,5 GHz dazu tendieren werden, vom Mikrowellenspektrum zu verschwinden.

[0030] Simulationen, die wir durchgeführt haben, zeigten, daß die Feldvektoren der Pulse/Impulse bei einem gegebenen Kanal, wenn das Mittel zu einer linearen Polarisierung umgewandelt ist, selten mehr als $\pm 3,3^\circ$ vom Mittel streut. Präziser formuliert, weist die Winkelabweichung eine Gaus-Verteilung über dem Mittel (0°) auf, dessen Standardabweichung σ ungefähr 3° beträgt. Daher kann für Pulse/Impulse einer Winkelabweichung $\leq 7\sigma$ (die Wahrscheinlichkeit der Pulsabweichung $> 7\sigma$ beträgt ungefähr nur 10^{-10}) ein Linear-Analyser alles eliminieren außer $(\sin 21^\circ)^2$, oder ungefähr 15% der Intensität des am meisten abgewichenen dieser Pulse des Kanals, der Daten 2 Signale trägt vom Daten 1 Signale tragenden Kanal und umgekehrt. Da ein solcher Ausfluß relativ klein zu den großen Wegen des ASE-Rauschens ist, wird nicht erwartet, die Bitfehlerrate signifikant zu beeinflussen. Man beachte, daß dies vergleichbar ist mit dem Modulatorenausfluß an Energie in den "Nullen"

am Transmitter.

[0031] Das Potential für Fehler kann jedoch, falls notwendig, weiterhin reduziert werden durch leichtes Reduzieren des Zeitfensters zur Detektion in jedem Kanal, wie in **Fig. 6** gezeigt. Daher ist es möglich, ein asymmetrisches Zeitteilungsdemultiplexen ebenso durchzuführen, so daß Pulse/Impulse, die in einer engen Zeitzone an den Grenzen der normalen 2,5 Gbits/s-Bitperiode ankommen, unterdrückt werden, oder anders ausgedrückt, so daß nur Pulse innerhalb eines gewünschten Zeitfensters detektiert und daraufhin verarbeitet werden. Die gerade beschriebene Unterdrückung kann erreicht werden entweder mit einem anderen elektro-optischen Modulator oder elektronisch folgender Detektion. Beispielsweise, wenn die "verbotene" Zone **601, 602, 603** in **Fig. 6** sich erstreckt auf ungefähr $\pm 3\sigma$ auf einer Seite der Grenze, wo σ die Standardabweichung des Zeitjitters ist, der beschrieben wurde durch J. P. Gordon und H. A. Haus, "Random Walk of Coherently Amplified Solitons in Optical Fiber Transmission", Opt. Lett. 11, Seiten 665–667, Oktober 1986, wird dann die Wahrscheinlichkeit, daß die unerwünschten Pulse/Impulse außerhalb dieser Zone liegen, $<10^{-3}$ werden. Da ein typischer Wert für σ , bei vernünftigen Annahmen über die Verstärkerabstände und Rauschfiguren, ungefähr 13 ps bei 9000 km beträgt, würden 80 ps insgesamt von der normalen 400 ps-Periode eliminiert werden. Auf der anderen Seite benötigt der Gordon-Haus-Jitter für eine 10^{-12} Fehlerrate eine totale Breite von ungefähr $2 \times 7 \times \sigma$, oder ungefähr 180–200 ps in diesem Fall. Daher wird die 320 ps-Einfangzone **604, 605** einen großen Sicherheitsrand für die Netz-S-Gbits/s-Single-Wellenlängenrate erlauben. Man könnte faktisch eine Single-Wellenlängenrate näher an 7,5 Gbits/s (zwei 3,75 Gbits/s Kanäle, die zusammen insgesamt gemultiplext sind,) haben. Dies würde ein adäquat großes $276 - 80 = 187$ ps effektives Erfassungsfenster aufweisen. Daher, wie früher behauptet, sollte die hier beschriebene Technik es einem erlauben, die Single-Wellenlängenkapazität eines Ultralangdistanzsoliton-Transmissions-Systems zu verdoppeln oder wenigstens nahezu zu verdoppeln.

[0032] Zusätzlich zu den oben beschriebenen Simulationen haben wir direkte experimentelle Messungen des Polarisationsgrades eines Zuges von ~50 ps Solitonen durchgeführt, nachdem diese verschiedene Distanzen bis hin und einschließlich zu 9000 km in einer Rezirkulationsschleife durchlaufen haben. Das heißt, daß durch Konvertieren der auftretenden Polarisation in eine präzise Lineare, wir das Extinktionsverhältnis gemessen haben (Intensitätsverhältnis von durch einen Linearanalyser transmittiertes Licht, orientiert parallel und senkrecht zur auftretenden Polarisation), wobei wir einen Wert von 24 dB bei 9000 km fanden und entsprechend größere Verhältnisse für kürzere Distanzen. Weiterhin ist unsere experimentelle Messung fast in Übereinstimmung mit einer analytischen Theorie, die besagt, daß

das Extinktionsverhältnis, das gemessen wird, sich ergeben sollte durch das Signal/Rausch-Verhältnis bei gegebener Distanz. Daher haben wir drei Argumente oder Beweistücke, die zeigen, daß Solitonen tatsächlich gut polarisiert bleiben, nämlich, die numerischen Simulationen, die experimentellen Messungen und die analytische Theorie. Die nahezu Übereinstimmung aller drei Techniken zur Verifizierung des Betriebs unserer Erfindung ist in **Fig. 7** gezeigt. Es kann in dieser Fig. gesehen werden, daß das Extinktionsverhalten für eine Fahrlänge von ungefähr 9000 km ungefähr 24 dB beträgt, anzeigen, daß weniger als 1/250 der Energie in der gewünschten Polarisationsrichtung zur anderen Polarisationsrichtung verloren geht.

[0033] Verschiedene Modifikationen und Adaptationen können zur vorliegenden Erfindung durch Fachleute durchgeführt werden. Aus diesem Grund ist es gewünscht, daß die Erfindung nur durch die angehängten Ansprüche beschränkt ist. Während beispielsweise ein Multiplexen von zwei Signalen gezeigt und oben beschrieben wurde, ist es daher zu verstehen, daß zusätzliche Signale auf gleichem Wege kombiniert werden können, vorausgesetzt, daß sukzessive Signale in passenden unterschiedlichen Moden polarisiert sind/werden.

[0034] Es sollte weiterhin darauf geachtet werden, daß die Single-Wellenlängenkapazität eines Soliton-Systems, was immer das ist, an wenigstens verschiedenen Zeiten vervielfacht werden kann durch die Verwendung von WDM (Wellenlängenteilungsmultiplexen), wie beschrieben in einem Artikel von L. F. Mollenauer, S. G. Evangelides und J. P. Gordon in Jnl Lightwave Tech. Vol. 9, Nr. 3, März 1991, Seiten 362–367, betitelt "WDM With Solitons in Ultra Long Distance Transmission Using Lumped Amplifiers".

Patentansprüche

1. Optisches Kommunikationssystem, gekennzeichnet durch:
einen Transmitter, wobei der Transmitter beinhaltet eine einzelne Signalquelle (**201**) zur Erzeugung eines Stromes aus Soliton-Pulsen;
einen Signalsplitter (**202**) zum Splitten des erzeugten Stromes aus Soliton-Pulsen in eine Mehrzahl von einzelnen Pulssströmen, wobei jeder Pulssstrom eine unterschiedliche Polarisierung aufweist;
einen Modulator (**205, 206**) zum Modulieren jedes Pulssstromes mit zu übertragender Information; und
einen Multiplexer (beispielsweise **209–214**) zum Zeit- und Polarisationsverschachteln der modulierten Pulssströme, um einen gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten und den gemultiplexten Strom auf eine Übertragungsleitung zu geben;
eine Übertragungsleitung mit einer relativ geringen Polarisationsabhängigkeit, gekennzeichnet durch, für jede zwei Polarisierungen, eine relativ kleine Differenz in der Systemverstärkung und eine relativ geringe Zeitverzögerung, im Vergleich zu einer Bitperiode;

und einen Empfänger, wobei das Empfangen beinhaltet einen Demultiplexer (beispielsweise **404–406**) zum Separieren der modulierten Pulssströme nach einer Übertragung über der Übertragungsleitung; und einen Demodulator zum Demodulieren jedes empfangenen Pulssstromes zur Wiedergewinnung der darauf modulierten Information.

2. Transmitter zur Verwendung in einem optischen Kommunikationssystem, gekennzeichnet durch:
eine einzelne Signalquelle (**201**) zur Erzeugung eines Stromes aus Soliton-Pulsen;
einen Signalsplitter (**202**) zum Splitten des erzeugten Stroms aus Soliton-Pulsen in eine Mehrzahl von einzelnen Pulssströmen, wobei jeder Pulssstrom eine unterschiedliche Polarisierung aufweist;
einen Modulator (**205, 206**) zum Modulieren jedes Pulssstromes mit zu übertragender Information; und einen Multiplexer (beispielsweise **209–214**) zum Zeit- und Polarisationsverschachteln der modulierten Pulssströme, um einen gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten und den gemultiplexten Strom auf eine Übertragungsleitung zu geben, wobei die Übertragungsleitung eine relativ geringe Polarisationsabhängigkeit aufweist, die dadurch gekennzeichnet ist, daß für jede zwei Polarisierungen eine relativ kleine Differenz in der Systemverstärkung und eine relativ geringe Zeitverzögerung im Vergleich zu einer Bitperiode auftritt.

3. Transmitter nach Anspruch 2, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß einzelne Pulssströme im wesentlichen eine orthogonale Polarisierung aufweisen.

4. Transmitter nach Anspruch 3, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß der Multiplexer einen Polarisationssplitter (**210**) zum Kombinieren eines ersten Pulssstromes aus den einzelnen Pulssströmen mit einem verzögerten zweiten Pulssstrom aus den einzelnen Pulssströmen aufweist, um dadurch den gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten.

5. Transmitter nach Anspruch 4, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß der Multiplexer eine einstellbare Verzögerungsleitung (**209**) zum Erhalten einer gewünschten Zeitverzögerung (dt) zwischen einem ersten Pulssstrom aus den einzelnen Pulssströmen und einem zweiten Pulssstrom aus den einzelnen Pulssströmen aufweist.

6. Verfahren zum Transmittieren von Informationen in einem optischen Kommunikationssystem, gekennzeichnet durch die folgenden Schritte:
Erzeugen eines Stroms aus Soliton-Pulsen mit einer einzelnen Signalquelle (**201**);
Splitten des erzeugten Stroms aus Solitonpulsen in eine Mehrzahl von einzelnen Pulssströmen, wobei je-

der Pulssstrom eine unterschiedliche Polarisierung aufweist;
Modulation jedes Pulssstroms mit zu einem entfernten Empfänger zu übertragender Information;
Zeit- und Polarisationsverschachteln der modulierten Pulssströme, um einen gemultiplexten Strom aus Soliton-Pulsen zu erhalten; und
Aufbringen des gemultiplexten Stroms auf eine Übertragungsleitung mit einer relativ geringen Polarisationsabhängigkeit, die dadurch gekennzeichnet ist, daß für jede zwei Polarisierungen eine relativ geringe Differenz in der Systemverstärkung und eine relativ geringe Zeitverzögerung im Vergleich zu einer Bitperiode auftritt.

7. Verfahren nach Anspruch 6, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß erste und zweite Pulssströme mit im wesentlichen orthogonalen Polarisierungen während des Splittingschrittes erhalten werden.

8. Verfahren nach Anspruch 6, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß der Verschachtelungsschritt das Einstellen einer Zeitverzögerung zwischen den ersten und zweiten Pulssströmen beinhaltet und anschließend diese in einem Polarisationsplitter kombiniert werden.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG. 1

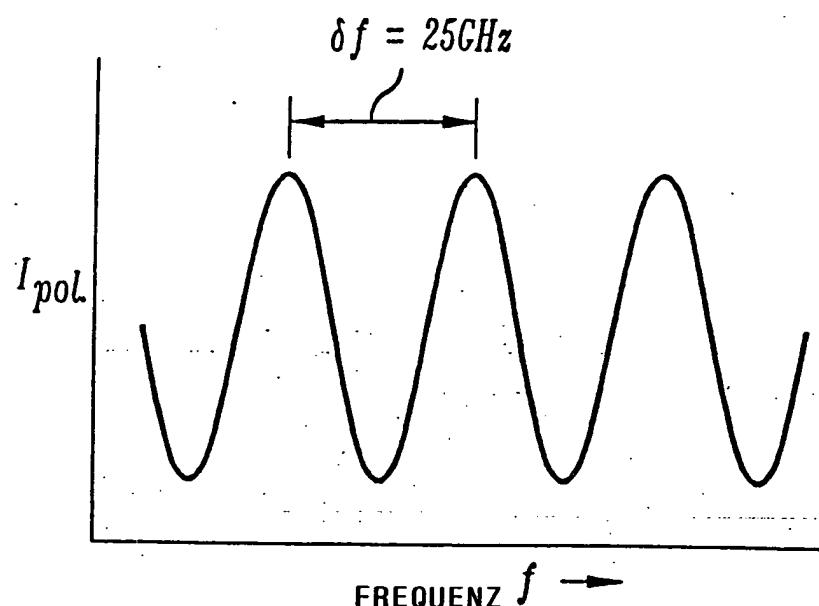


FIG. 3

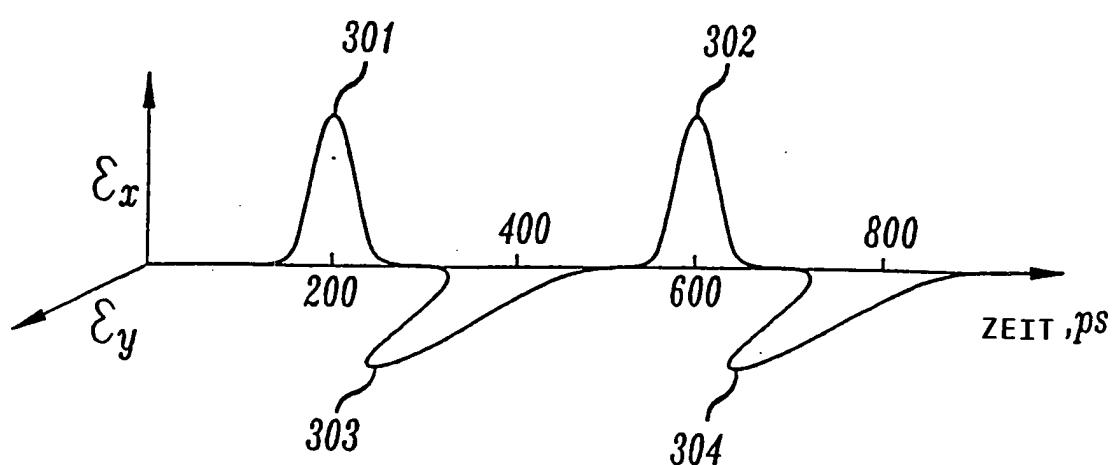


FIG. 2

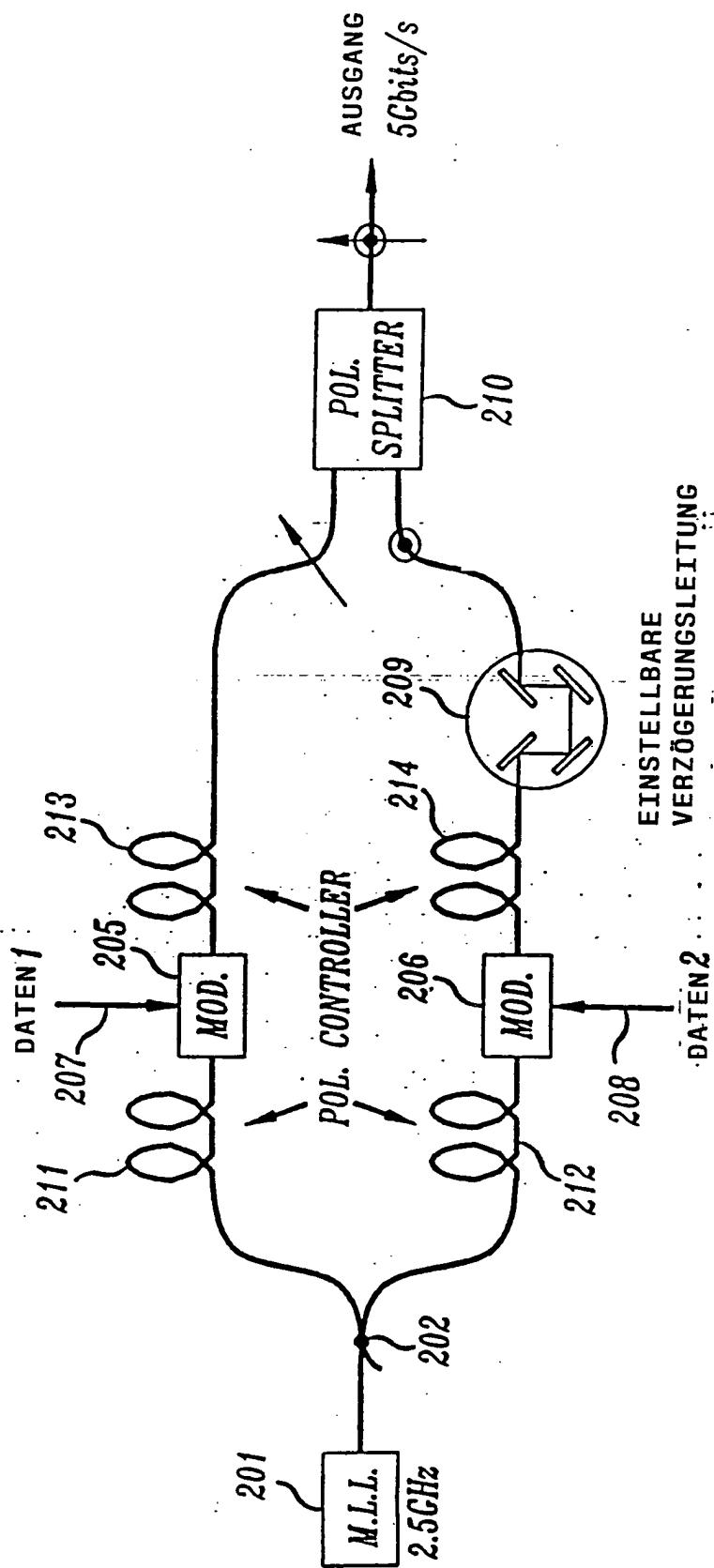


FIG. 4

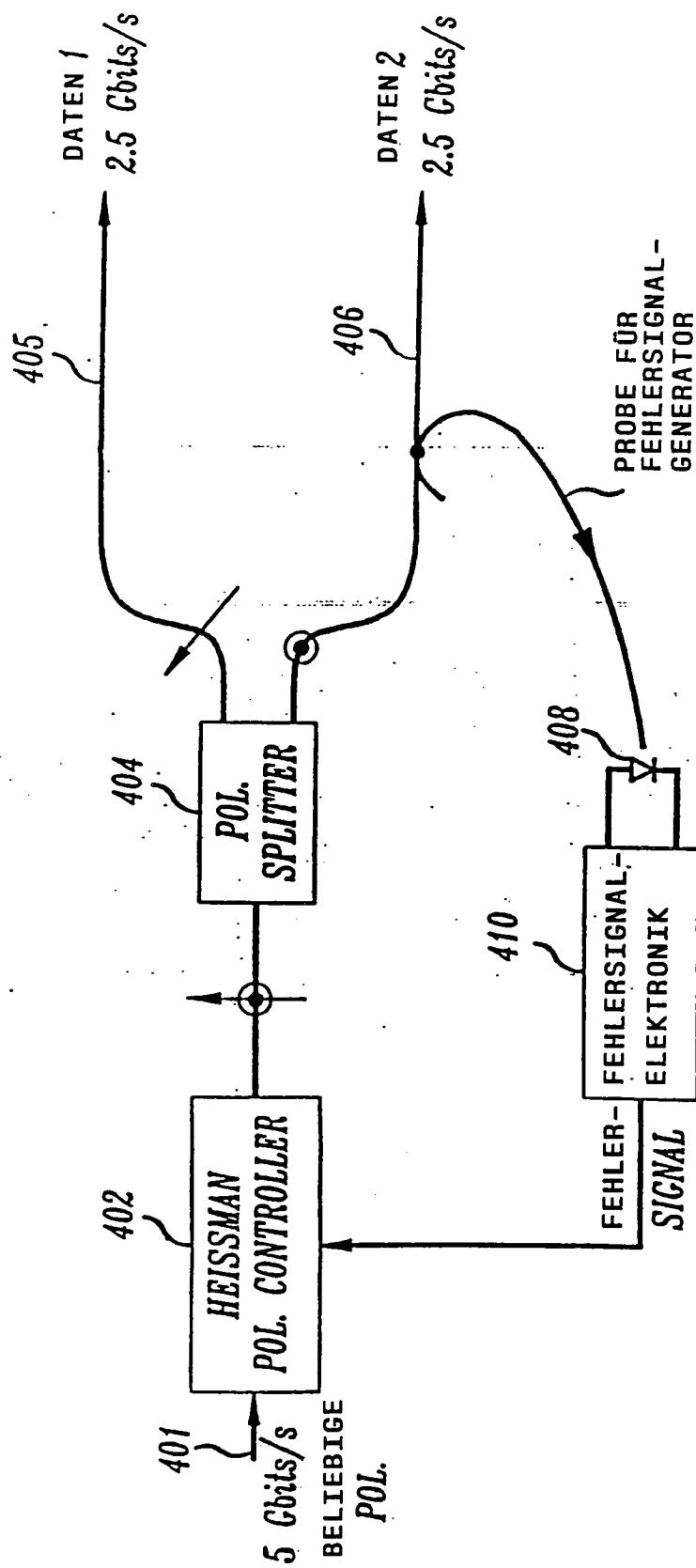


FIG. 5

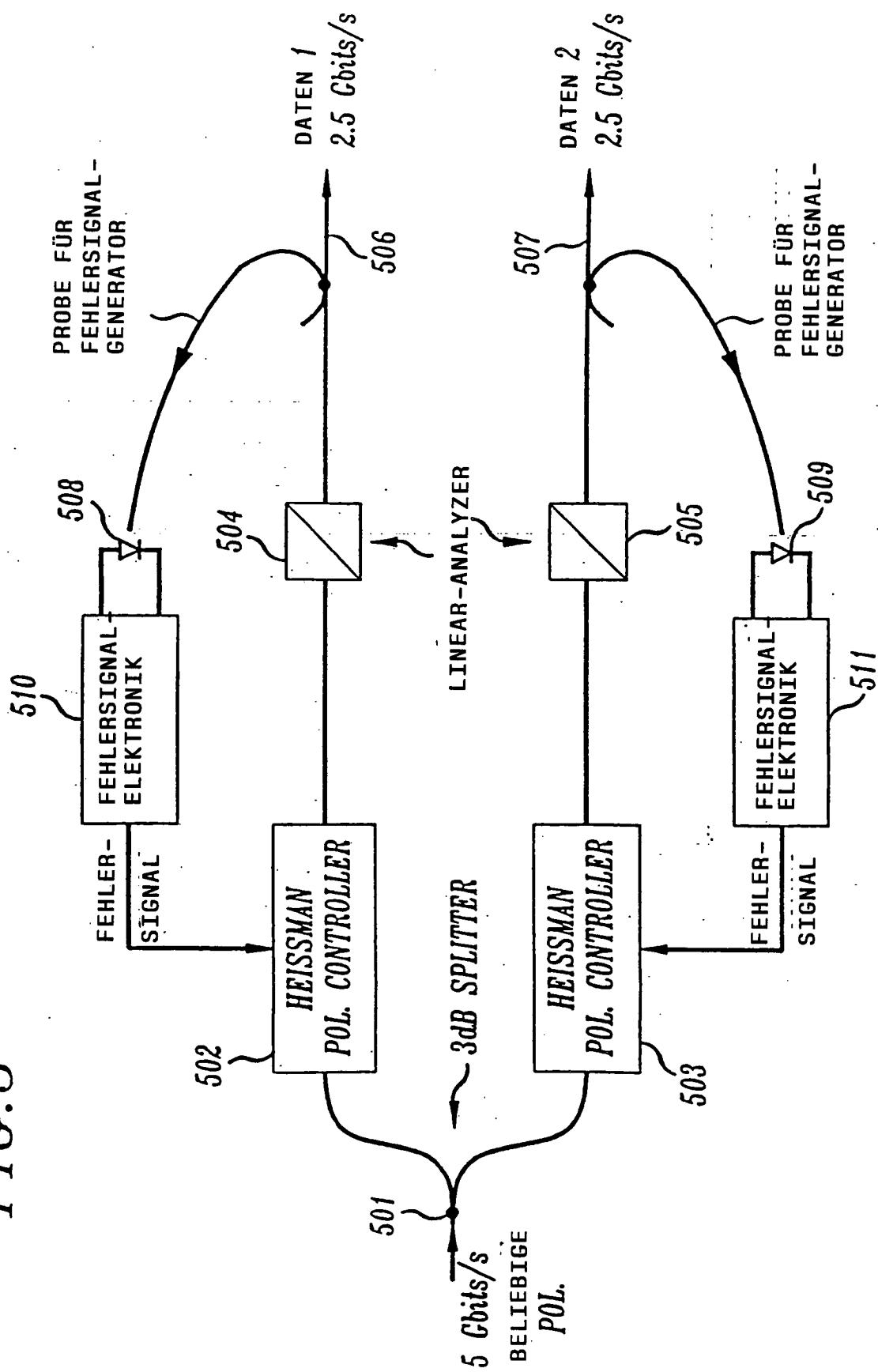


FIG. 6

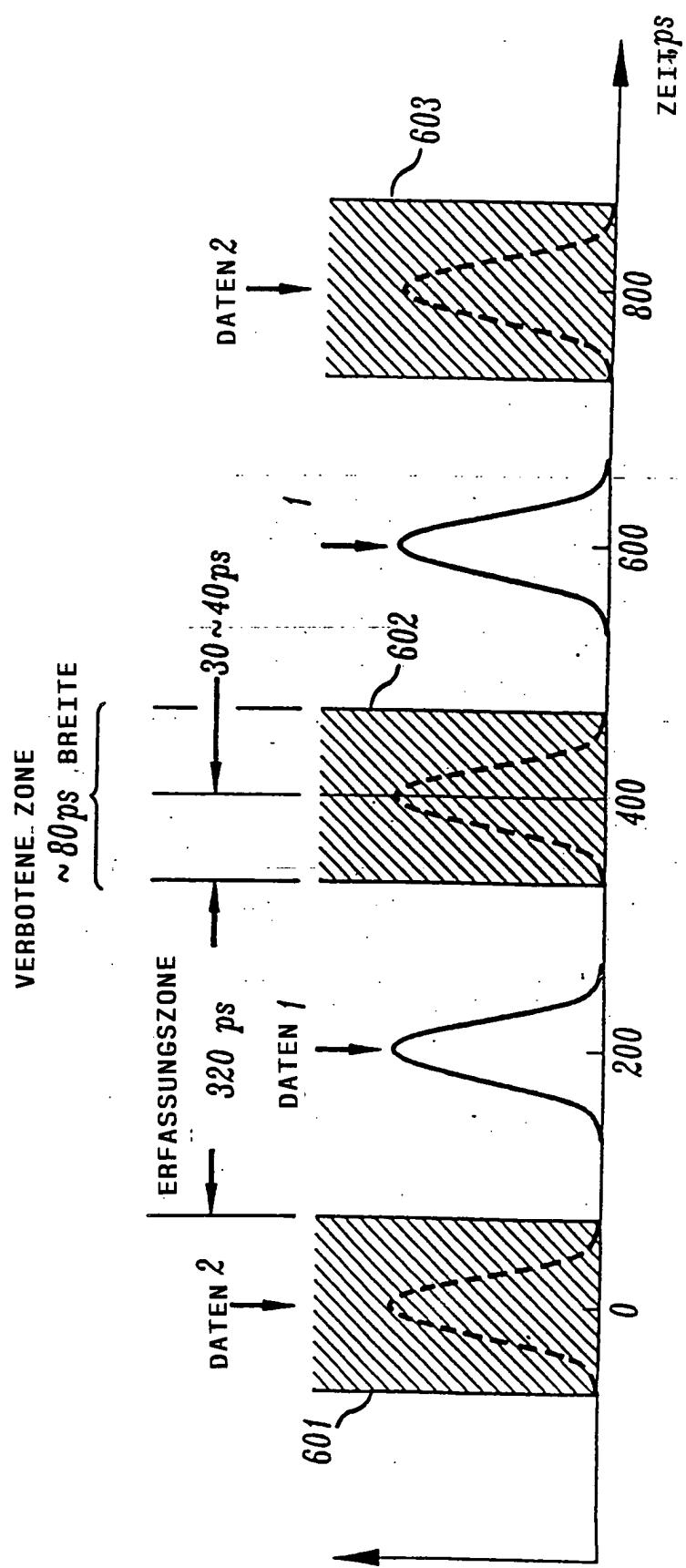


FIG. 7

